

文章编号: 1007 - 1482 (2009) 02 - 0143 - 04

一种新的基于彩色双边滤波的彩色图像增强方法

丁兴号¹, 王鑫芯¹, 肖 泉¹, 廖英豪¹, 郭东辉¹, 王守觉^{1,2}

(1. 厦门大学 信息科学与技术学院, 福建 厦门 361005;

2. 中国科学院 半导体研究所, 北京 100083)

摘 要: 本文提出一种新的基于彩色双边滤波的彩色图像增强方法。该方法将彩色图像增强分为三部分:全局亮度调节、对比度增强和颜色恢复。全局亮度调节主要是对图像的整体亮度信息进行非线性调整,压缩图像的亮度动态范围;局部对比度增强主要是利用彩色双边滤波获得像素点所在邻域的背景亮度,由当前像素点的亮度与背景亮度之间的关系,通过非线性的方法增强图像局部对比度;最后通过颜色恢复算法恢复图像色彩。相关实验表明,本文所提方法可以获得很好的彩色图像增强效果。

关键词: 彩色图像增强; 彩色双边滤波; 人类视觉系统; Retinex

中图分类号: TP391.41

文献标识码: A

A new method for color image enhancement based on color bilateral filter

DING Xinghao¹, WANG Xinxin¹, XIAO Quan¹, LIAO Yinghao¹,
GUO Donghui¹, WANG Shoujue^{1,2}

(1. School of Information Science and Technology, Xiamen University, Xiamen, Fujian 361005, China

2. Institute of Semiconductors, CAS, Beijing 100083, China)

Abstract: In this paper, we propose a new method for color image enhancement based on color bilateral filter. The method is divided into three major parts: global luminance enhancement, local contrast enhancement and color restoration. Global luminance enhancement changes the luminance information via non-linear adjustment to compress the dynamic range of the image. Local contrast enhancement enhances the local contrast by non-linear method, which units the relationship between the luminance image of each pixel and the background information of its neighboring pixels after color bilateral filtering. Finally, a color restoration algorithm is used to convert the enhanced luminance image to a color image. Related experiments show that the method proposed has good effectiveness for color image enhancement.

Key words: color image enhancement; color bilateral filter; human visual system; Retinex

收稿日期: 2009-04-14

基金项目: 福建省自然科学基金 (2008J0032); 厦门大学 985 二期信息创新平台 (00002X07204); 厦门市科技计划高校创新项目 (3502Z20083006)

作者简介: 丁兴号 (1977 -), 男, 副教授、硕士导师。主要从事图像稀疏表示理论及应用、图像处理、高维形象几何仿生信息学等方面的研究工作。E-mail: dxh@xmu.edu.cn

1 引言

图像增强技术是图像处理领域基本处理技术之一。由于动态范围的限制、光照的影响、图像显示设备等原因,图像在获取过程中质量会下降,使得原来图像中的很多信息不能为人眼所识别,这就需要利用图像增强技术,使这些信息便于人眼识别。近年来灰度图像增强技术已发展得较为成熟,形成了很多经典方法。但在自然界和我们的日常生活中,接触的大多是彩色图像,和灰度图像相比,彩色图像还存在色彩信息,彩色图像增强的目的在于增强图像细节的同时使图像更加生动,色彩鲜艳但不能带来失真或色偏等现象。常规的灰度图像增强技术如gamma校正、对数压缩、直方图均衡等直接移植到彩色图像增强领域并不适用,为此需要研究彩色图像增强技术。

现有的彩色图像增强技术中基于Retinex^[1-3]模型的方法是比较经典的,如文献[1]在Retinex模型基础上提出的一种自适应滤波彩色增强技术取得了很好的增强效果,但是该方法有一定的颜色失真且计算量非常大;文献[4]中提出的算法可以达到很好的颜色处理效果,但对边缘的处理效果不好,在边缘处容易导致过增强。综合分析上述两种方法的优缺点的基础上,项目组提出一种新的基于仿生的彩色图像增强方法[5],增强后的图像整体效果更好,优于上述两种方法,但是边缘处的过增强现象仍然存在。

针对文献[5]中的边缘过增强现象,我们提出了基于彩色双边滤波的彩色图像增强算法。文献[5]中的双边滤波中仅考虑了图像像素间的距离和亮度关系来确定滤波器系数,没有考虑到图像的色彩信息。本文提出的彩色双边滤波则进一步将色彩信息也作为滤波器系数确定的参数。该方法保留了双边滤波的优点,同时又有效地改善了图像增强的边缘的处理效果,使视觉效果更好。

2 彩色图像增强算法

本文所提的彩色图像增强方法主要有三个步骤:(1)自适应全局亮度调节;(2)自适应局部对比度调节;(3)颜色恢复。人的视觉系统能同时鉴别的光强度级别的动态范围很小^[6],对于高动态范围

的图像需要压缩其动态范围,通过亮度调节可压缩图像的动态范围。然后进行对比度增强提高图像的视觉细节,最后通过颜色恢复得到增强后的彩色图像。

其过程如图1所示:

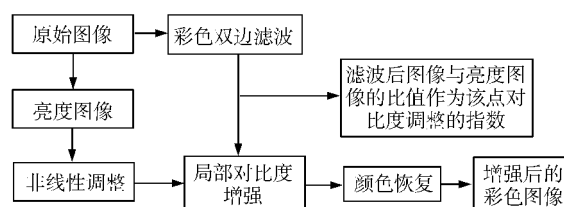


图1 彩色图像增强算法流程图

2.1 自适应全局亮度调节

假定原始图像为 $I(x, y)$, 我们定义在点 (x, y) 处像素的亮度为:

$$I_L(x, y) = I_Y(x, y) \quad (1)$$

其中, $I_Y(x, y)$ 是该点像素在 YUV 空间里 Y 分量的值。彩色图像可用 YUV 颜色模型表示。在 YUV 空间里彩色图像用 Y, U, V 三个分量表示, 其中 Y 分量表示亮度, U, V 分量表示色差, U 和 V 是构成彩色的两个分量。

再对亮度图像进行归一化:

$$I_n(x, y) = \frac{I_L(x, y)}{255} \quad (2)$$

主观亮度是进入人眼睛的光强度的对数函数, 但由于图像的动态范围过大, 直接取对数的效果并不好, 我们依据原始图像的明暗程度对所得到的亮度图像进行非线性调整, 压缩图像的动态范围, 同时对图像的明暗进行调节。非线性调节方式如下:

$$I_t(x, y) = \frac{1}{2} [I_n^{0.75a+0.25} + 0.4(1 - I_n)(1 -) + I_n^2] \quad (3)$$

其中, a 为明暗亮度系数, 可根据亮度图像的累积分布函数得到:

$$a = \begin{cases} 0, & l \leq 50 \\ (l - 50) / 100, & 50 < l \leq 150 \\ 1, & l > 150 \end{cases} \quad (4)$$

l 是亮度图像灰度累积分布函数等于 0.1 时的灰阶。

在 0~1 之间变化, 当有 90% 以上的像素的灰度值大于 150 时, a 为 1; 当 10% 的像素灰度值低于 50 时, a 等于 0; 其他时候 a 在 0~1 之间线性变化。

2.2 基于彩色双边滤波的自适应局部对比度增强

大多数局部对比度调整方法都会产生光晕,本文中所提的彩色双边滤波可有效的减少光晕,同时也可以达到不错的视觉效果。

局部对比度增强方法如公式(5)所示:

$$I_c(x, y) = I_j(x, y)^{E(x, y)} \quad (5)$$

$$E(x, y) = \left(\frac{I_c(x, y)}{I_n(x, y)} \right) \quad (6)$$

$I_c(x, y)$ 是原始彩色图像 $I(x, y)$ 经过彩色双边滤波得到的背景亮度。

双边滤波是利用图像像素间的距离和亮度信息确定滤波器的系数。由于仅仅考虑彩色图像中的亮度信息,因而对于像素点所在邻域的背景亮度的获取不是很准确,容易导致边缘处过增强。在彩色双边滤波里,我们进一步将彩色图像的色彩信息也作为确定滤波器系数的一个参数。其滤波方法如下:

$$I_c(x, y) = \frac{\sum_{i,j=-W}^W G_R G_Y G_U G_V Y(x_i, y_j)}{\sum_{i,j=-W}^W G_R G_Y G_U G_V} \quad (7)$$

$$G_R(x, y; x_i, y_i) = \exp \left\{ - \frac{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2}{2 \frac{R}{R}} \right\} \quad (8)$$

$$G_Y(Y(x, y); Y(x_i, y_i)) = \exp \left\{ - \frac{Y(x, y) - Y(x_i, y_i)}{2 \frac{Y}{Y}} \right\} \quad (9)$$

$$G_U(U(x, y); U(x_i, y_i)) = \exp \left\{ - \frac{U(x, y) - U(x_i, y_i)}{2 \frac{U}{U}} \right\} \quad (10)$$

$$G_V(V(x, y); V(x_i, y_i)) = \exp \left\{ - \frac{V(x, y) - V(x_i, y_i)}{2 \frac{V}{V}} \right\} \quad (11)$$

其中, $Y(x, y), U(x, y), V(x, y)$ 是在点 (x, y) 处像素的 Y, U, V 分量的值, R, Y, U, V 为相应的尺度参数,根据图像像素间的相似性和衰减速度调整。Tree图像实验中所用参数 R, Y, U, V 依次为 19、0.3、0.04、0.03, coupole 图像实验中为 19、0.5、0.07、0.05, auto 图像实验中为 19、0.2、0.03、0.05。

2.3 颜色恢复

经过亮度调节和对比度增强,再对得到的亮度图像进行颜色恢复,就可以得到增强后的彩色图像。

颜色恢复可通过对原来的彩色图像进行线性颜色处理得到:

$$S_j(x, y) = I_j(x, y) \frac{I_c(x, y)}{I_n(x, y)}, j = R, G, B \quad (12)$$

$I_j(x, y)$ 是原始彩色图像的 R, G, B 分量, $S_j(x, y)$ 是增强后的彩色图像的 R, G, B 分量值。

3 实验结果与分析

运用本文所提方法,依次对 tree、coupole 和 auto 三幅图像进行实验,实验结果如图 2 所示。从图 2 中我们可以看出本文方法可达到很好的主观效果,增强后的图像的颜色和边缘效果都不错。

图 3 显示了用文献 [1, 4, 5] 和本文方法对 tree 图像中的树林部分进行实验后的结果,从图中可以看出本文方法可以有效地改善边缘的过增强现象。

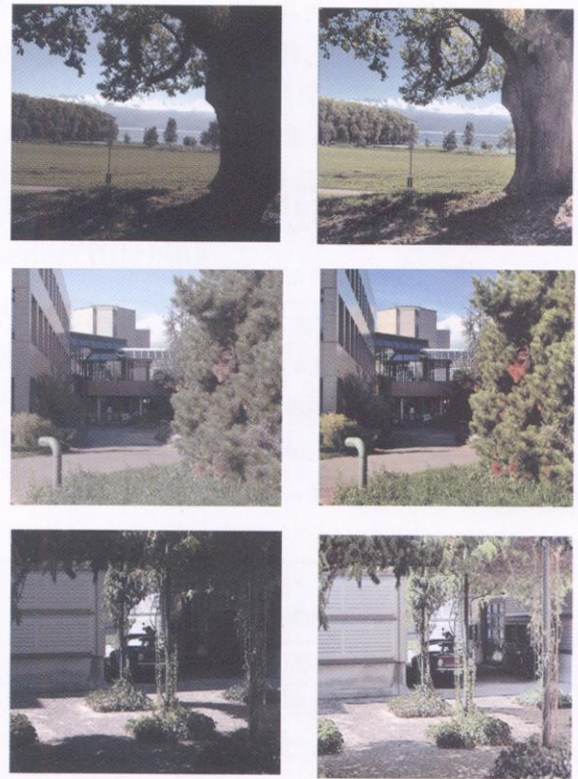


图 2 本文方法实验结果(左边为原图像,右边为增强后图像,从上到下依次为 tree、coupole 和 auto 图像)

目前对彩色图像增强的客观评价标准还不成熟,主要依赖于主观视觉效果。在这里我们采用均值和对比度提升指数作为判别标准,对比度提升指数定义为:

$$CI = C_{processed} / C_{original} \quad (13)$$

C 为将图像分为 3×3 小块后所有小块对比度的均

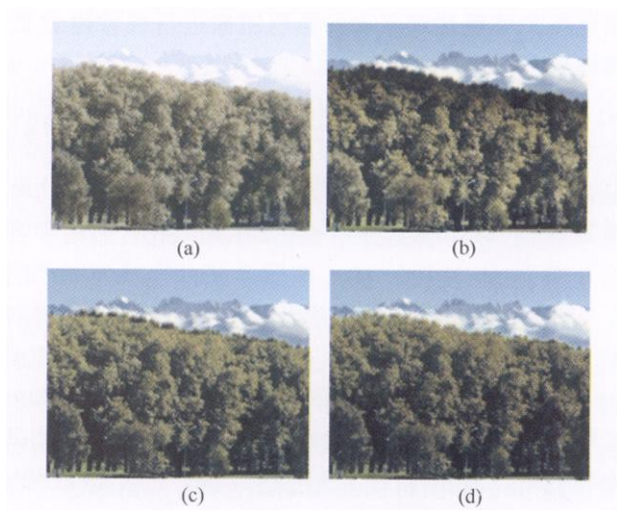


图3 Tree图像树林部分增强结果比较

(a)文献1结果;(b)文献4结果;

(c)文献5结果;(d)本文结果

值。小块对比度定义为: $(\max - \min) / (\max + \min)$, \max 为小块图像中最大的灰度值, \min 为该小块图像中灰度的最小值。 $C_{processed}$ 代表增强后的彩色图像的对比度, $C_{original}$ 代表原始彩色图像的对比度。

分别对 tree、couples 和 auto 图像采用文献 [1, 4, 5] 中方法以及本文方法进行实验, 增强后图像的性能指标比较如表 1、表 2、表 3 所示。

表1 Tree图像增强结果性能比较

指标	均值	CI
原始图像	34.1	1
文献1	106.7	0.779
文献4	81.4	1.345
文献5	76.4	1.472
本文	70.5	1.461

表2 Couples图像增强结果性能比较

指标	均值	CI
原始图像	44.5	1
文献1	120.2	0.883
文献4	86.2	1.383
文献5	82.1	1.441
本文	82.3	1.362

表3 Auto图像增强结果性能比较

指标	均值	CI
原始图像	28.9	1
文献1	98.6	0.779
文献4	81.2	1.331
文献5	81.6	1.347
本文	73.6	1.438

4 结论

本文提出一种新的彩色图像增强方法, 该方法是对课题组前期研究的成果^[5]的改进。主要是通过引入颜色信息将文献 [5] 中的双边滤波方法进行进一步拓展, 使得该方法具有双边滤波的优点同时较双边滤波的边缘处理效果更好。该方法能够有效地增强彩色图像, 增强后的彩色图像具有最佳的视觉效果。

参考文献:

- [1] Meylan L, Susstrunk S. High dynamic range image rendering with a retinex-based adaptive filter [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2006, 15(9): 2820 - 2830.
- [2] Funt B, Ciurea F, McCann J. Retinex in MATLAB [J]. Journal of Electronic Imaging, 2004, 13(1): 48 - 57.
- [3] Kimmel R, Elad M, Shaked D, et al. A variational framework for Retinex [J]. International Journal of Computer Vision, 2003, 52(1): 7 - 23.
- [4] Li Tao, Asari V K. A Robust Image Enhancement Technique for Improving Image Visual Quality in Shadowed Scenes [M] // Leow W K, Lew M S, Chua T S, et al. Image and video retrieval: 4th international conference, CIVR 2005, Singapore, July 20 - 22, 2005; proceedings. Berlin: Springer, 2005, 395 - 404.
- [5] 王守觉, 丁兴号, 廖英豪, 等. 一种新的仿生彩色图像增强方法 [J]. 电子学报, 2008, 36(10): 1970 - 1973.
- [6] Webster M A. Human colour perception and its adaptation [J]. Network: Computation in Neural Systems, 1996, 7(4): 587 - 634.